公開

研 究 終 了 報 告 書

「 感情を持つロボットの開発に向けた情動反応モデルの構築 」

研究期間: 2021 年 10 月～2024 年 3 月
研 究 者: 日永田 智絵

1. 研究のねらい

本研究では情動反応の計算モデルを構築することを目的とし、視覚刺激と聴覚刺激の二つの実験条件において、実データに対応し、個人差を加味した計算モデルを構築し、各計算モデル比較する。

ダマシオは著書の感じる脳にて情動は身体という劇場で演じられ、感情は心という劇場で演じられると述べている。その意味は情動(emotion)は情の動きと書くように身体反応を表し、感情は情を感じると書きその身体反応を認知したものであるという考え方である。また、ダマシオはソマティック・マーカー仮説を提唱しており、この情動的な身体シグナルが意思決定を効率化しているのだと述べている。ダマシオの著書では、ソマティック・マーカーという自身の造語を用いているが、その後の講演などでは内受容感覚(interoception)という言葉を用いて説明をしている。このソマティック・マーカー仮説は近年ではその実験に色々な批判はあるものの、重要な説として扱われてきた。

このように、感情において内受容感覚が重要であるという議論がなされている。例えば、悲しいときに胸が締め付けられるような感覚や嬉しいときに心臓の鼓動が早くなったり大きく聞こえるような感覚(ドキドキと表現するような感覚)を感じることがある。この臓器など身体の内部の感覚である内受容感覚は我々の直感的にも身体内部の感覚と結びついていると感じられる。内受容感覚は感覚の機能的区別の名称であり、五感などの外受容感覚と対をなす感覚として扱われている。本研究では内受容感覚に繋がる身体反応そのものに着目し、刺激に対する身体反応の計算モデルを構築することを目的とする。以降、刺激に対しておこる内受容感覚に繋がる身体反応のことを情動反応とよぶ。情動反応は感情のメカニズムにおいてもコアとなる要素であり、本研究は感情メカニズム解明に寄与するものである。

2. 研究成果

(1)概要

本研究は情動反応の計算モデルを構築することを目的とし、視覚刺激と聴覚刺激の二つの実験条件において、実データに対応し、個人差を加味した計算モデルを構築し、各計算モデル比較するものである。研究計画では、1 年目に視覚実験を実施し、2 年目に聴覚実験を実施、最後の半年で視覚と聴覚の比較となっており、概ね予定通りに進行した。

実験では、人に情動を喚起するような画像刺激ならびに音刺激をそれぞれ約 30 人に提示し、情動反応として、その際の生体信号をウェアラブルデバイスを用いて計測した。そしてその後、自己評価尺度に回答させた。提示刺激は情動を喚起する画像データセットである International Affective Picture System (IAPS) から選んだ 60 枚の画像および音刺激データセットである International Affective Digital Sounds(IADS)の音刺激から選んだ 60 個の音刺激とした。ウェアラブルデバイスは E4 wristband ならびに mybeat を用い、皮膚電気抵抗と心拍

波形を取得した。被験者に 60 個の刺激を 1 つずつ提示し、その都度、刺激について思ったことを言語と Self-Assessment Manikin（SAM）で回答させた。SAM とは IADS や IAPS の実験でも用いられている評価手法であり、valence と arousal、dominance の 3 つに関してイラストを選択させることで回答させるものである。

モデル構築では、画像刺激提示実験のデータを用いて、画像特徴量を入力した際に、各人の生体信号を再現するようなモデルを教師あり学習を用いて構築した。モデルの候補として、いくつかの浅い層のニューラルネットワークモデルを使用した。モデルを比較した結果、畳み込み層を有した畳み込みニューラルネットワークが正解データとの誤差が最も小さく、相関係数も r=0.78 という結果となった。個人間における再現度のばらつきはあるものの、有用なモデルができたと考えている。この結果は電子情報通信学会総合大会にて発表しており、実験のプロトコルを含めた解析とともに論文採択を目指している。またそのほかにもいくつかの発展した内容での成果を得られており、本研究での計画は概ね達成されている。

（2）詳細

本研究提案では図 1 にあるように視覚実験および聴覚実験をし、計算モデルを構築し、比較するという計画を立てており、それに準じて研究推進を行ってきた。下記より、実験とモデル構築に分け、成果を報告する。

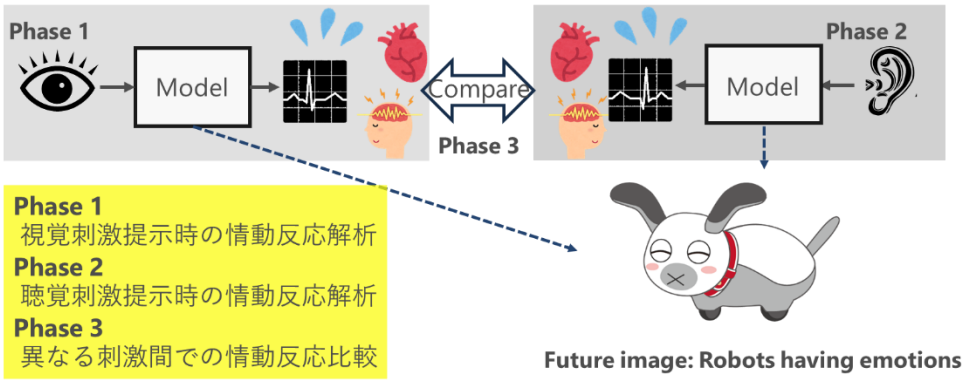

図 1　研究概要図

1. 被験者実験の実施

モデル学習のためのデータ収集として被験者実験を実施した。感情を喚起する画像を人に提示し、その際の生体信号をウェアラブルデバイスで、画像の印象を言語で取得した。そしてその後、画像に対する感情の自己評価尺度に回答させた。画像には International Affective Picture System（IAPS）に含まれる画像から抽出した 60 枚を使用した。IAPS には画像とともに, Self-Assessment Manikin（SAM）の標準化された値も公開されている。SAM とは、Valence、Arousal、Dominance の 3 つの評価軸に対して、それぞれイラストを用いた 9 件法により回答する感情の自己評価尺度である。本実験で用いた画像 60 枚は、この値がばらつくように選択している。生体信号は, E4 wristband と myBeat WHS-1 を用い、皮膚電気抵抗（EDA: 4Hz）と心拍波形(128Hz)を取得した。また、言語情報の取得には google speech recognition を使用し、被験者に音声入力させた。画像に対する感情の自己評価尺度には SAM を用いた。

被験者は 31 名（20 代-40 代の男性 14 名, 女性 17 名）であり、各被験者に対して、上記のサイクルを 10 枚分を 1 セッションとして、合計 6 セッション 60 枚分実施した。時間は 1 サイク

ル 75 秒で、画像提示 6 秒、言語情報入力 50 秒、SAM 回答 15 秒、各フェーズ間に合計 4 秒の待機時間が含まれた。また、各セッション間には 3 分間の休憩を挟んだ。加えて、音声入力等の基本操作に慣れさせるために事前に 1 セッション分の練習を行っており、安静時の測定や個人特性に関するアンケート回答時間等も含めて一人一回あたり 2 時間半-3 時間となった。

この実験とは別に音刺激を提示する実験を実施した。提示刺激は情動を喚起する音刺激データセットである International Affective Digital Sounds（IADS）の音刺激から選んだ 60 個の音刺激とした。被験者は画像刺激を提示された被験者とは別の 32 名であり、その他の実験プロトコルは画像提示時と同一のものである。

2. 情動反応モデルの構築

本研究ではニューラルネットワーク（NN）を対象とし、全結合層のみで構成される NN と畳み込み層を導入した CNN を層数を変更してモデルを構築した。モデルの入力は刺激で、出力は情動反応である。NN と CNN を同一のデータセットで学習し、テストデータとの平均二乗誤差（MSE）を計算することで性能比較を行った。

モデルの学習では取得した EDA を被験者ごとに標準化を行ったものを用いた。情動反応は個人差が大きいため、全体の被験者に合う 1 つのモデルを構築するのではなく、各個人のデータを教師として各個人のモデルを学習した。モデルの入力は画像の特徴量、出力は画像提示中の 6 秒間の EDA 変化量とした。画像は回転などの変換を行い、10 倍にデータ拡張した上で、Inception-ResNet-v2 を用いて特徴量抽出した。モデルの学習では 5 交差検証を実施した。

NN と CNN 内の MSE を比較したところ、NN では全結合層 3 層で構成された 3NN、CNN では畳み込み層 2 層と全結合層 2 層で構成された 2CNN が最も良い結果となった。3NN と 2CNN に対して有意水準 5%で t 検定を行ったところ、有意に 2CNN の MSE が小さいことが示された（$t(60)=2.34$, $p=0.023$,Cohen's; $d=0.50$）。また、学習を行ったモデルが適切な出力が出来ているかを調べるために、学習を行ったモデルの中で最小の MSE となった 2CNN に対して、有意水準 5%で無相関検定,相関係数の計算を行った。それぞれの計算には、モデルの出力と被験者の EDA の変化量を用いており,相関係数が大きくなるほどモデルの出力が適切に行えていることを示す。無相関検定は、被験者 31 人の全画像、全時点のデータ(89200 点)を対象に行った結果,p 値は $p < 0.001$ となり、有意な相関があることが示唆され、相関係数は $r = 0.78$ となった。また被験者、時点、画像ごとに相関係数の偏りが生じていないかの確認を行うために、それぞれで相関係数の計算を行った。被験者ごとに計算した相関係数は,ばらつきが大きいが全て正の値となった。また、時点ごと、画像ごとに計算した相関係数は、外れ値はあるものの多くの点で高い相関が見られた（図 2）。構築したモデルでの出力例を図 3 に示す。このように、それぞれのパターンに対して、類似した出力を得ることができている。

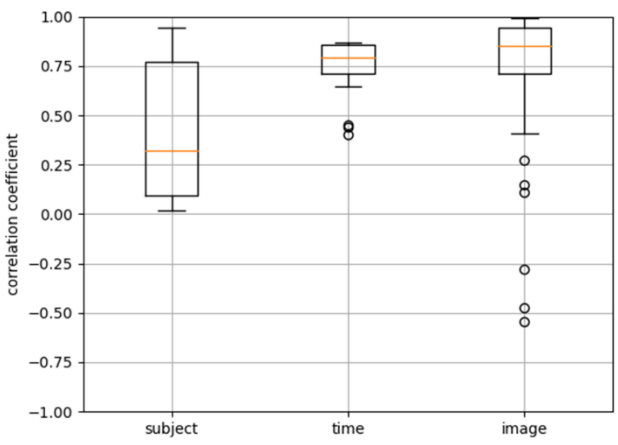

図 2　モデルと出力の相関

公開

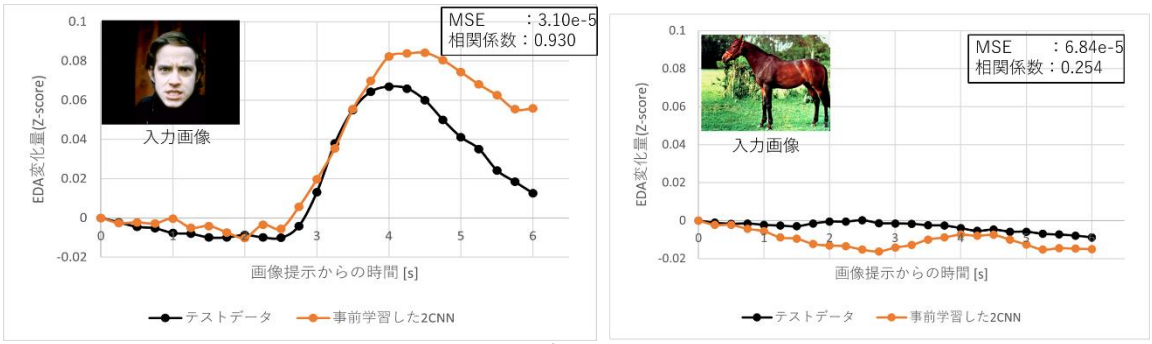

図 3　モデル出力例

3.　今後の展開

本研究では情動反応モデルの構築を目指し、実際に人からデータを取得し、モデルの構築を行った。本研究の研究題目には感情を持つロボットの開発に向けたという文言が入っている。これは研究推進者にとって重要な目標である。本研究の成果を生かし、感情を持つロボットに向けて推進する上でまずは従来の感情モデルに本情動反応モデルを組み合わせることで、ヒューリスティックな手法でのデザインを減らした形でのモデル構築が行える。このことにより感情モデルは人の実現象の再現がより精度良く行えると思われる。

また、本研究を推進する中で、多数のアドバイザーの意見をもらったことにより、感情はやはり生命維持ダイナミクスの中で考えるべきだという考えが固まった。本研究では上記にも記載したとおり、ある程度人を模したモデルを得ることができている。しかしながら、本モデルは任意の刺激に対する情動反応としての生理反応を模すモデルとなっており、その反応は生命維持には根ざしていない。内臓の重要な働きは生命活動の維持であり、それを抜きにして人工エージェントに表面的な生理反応を持たせることは、内受容感覚をコアとし、身体維持のホメオスタシスやアロスタシスが関わるといわれる情動や感情の本質が抜けてしまうと研究を推進する中で気づきを得た。したがって、人工エージェントにも生命活動が必要であり、それを維持するというダイナミクスの中で感情を考えるべきである。感情カテゴリ形成に定常状態の揺らぎが重要だという知見からもこの結論が強化される。このことから、研究推進者は人工エージェントの生命活動を考えた上での、感情モデル研究を考えており、過度な実験者の主観に基づくデザインを避けるために、ミニマムな生命活動のある物を対象とし、それをある種の臓器の代わりと置き換え、機械の身体つまりロボットに組み込むことを検討している。

こうした活動を経て、感情メカニズムの解明寄与に向け、研究を推進していきたい。

4.　自己評価

- 研究課題等の研究目的の達成状況

ある程度人を模した情動反応モデルを得ることができ（7-8 割）、概ね達成といえる。

- 研究実施体制及び研究費執行状況

研究実施体制：代表者に加え学生 2 名（実験補助等）

執行状況：概ね予定通り使用

- 研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果

本研究成果はまだ途上であるが、こうした研究を進めていくことで感情メカニズムの解明の

公開

寄与と共に、人工物が人のような感情を持つという未来を切り開き，他者の情動・感情推定精度を上げる技術の開発という新たな価値を創造する。

- ACT-X 実施により、 当該研究者として飛躍につながったか

日本ロボット学会誌特集号を企画発刊や読売新聞・毎日新聞・日経など多数のメディアへの研究掲載、サイエンスインパクトラボへの参画による社会実装についての検討など多岐にわたる点での成果で飛躍につながったと考えている。

現時点で論文採択に至っていないが、採択に向けて数本進めており、無事採択されればより飛躍につながる。

5. 主な研究成果リスト

（1）代表的な論文（原著論文）発表

研究期間累積件数： 0件

（2）特許出願

研究期間全出願件数： 0 件（特許公開前のものも含む）

（3）その他の成果（主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等）

[1] 松本貴志，弦牧和輝，早船晃希，日永田智絵，長井隆行，久保孝富，池田和司．画像刺激に対する情動反応モデルとしての EDA 推定モデルの探索．電子情報通信学会総合大会．2023

[2] 弦牧和輝，宮澤和貴，日永田智絵，長井隆行．画像提示時の生体反応を用いた感情概念形成モデルの検討．日本ロボット学会全国大会．2023

[3] 日永田智絵．Robots and Emotion ~ A constructive approach to understanding emotions ~．HCII2023、 2023

[4] 日永田智絵．「JST ACT-X AI 活用で挑む学問の革新と創成」特集について．日本ロボット学会誌、 2023

[5] 日永田智絵．「感情」に近づく AI 赤ちゃんの身体や脳の発達に秘密か．毎日新聞、 2023